

①9 BUNDESREPUBLIK
DEUTSCHLAND



DEUTSCHES
PATENTAMT

⑫ Patentschrift
⑩ DE 42 05 340 C 1

⑤1 Int. Cl.⁵:
H 01 H 59/00
H 01 L 41/09

②1 Aktenzeichen: P 42 05 340.4-34
②2 Anmeldetag: 21. 2. 92
④3 Offenlegungstag: —
④5 Veröffentlichungstag
der Patenterteilung: 5. 8. 93

DE 42 05 340 C 1

Innerhalb von 3 Monaten nach Veröffentlichung der Erteilung kann Einspruch erhoben werden

⑦3 Patentinhaber:
Siemens AG, 8000 München, DE

⑦2 Erfinder:
Gevatter, Hans-Jürgen, Prof. Dr.-Ing., 1000 Berlin, DE;
Kiesewetter, Lothar, Prof. Dr.-Ing., 1000 Berlin, DE;
Schimkat, Joachim, Dipl.-Phys., 1000 Berlin, DE;
Schlaak, Helmut, Dr.-Ing., 1000 Berlin, DE

⑤6 Für die Beurteilung der Patentfähigkeit
in Betracht gezogene Druckschriften:

DE-AS 20 38 447
DE-GM 19 96 584

SAKATA, Minoru: An Electrostatic Microactuator for
Electro-Mechanical Relay. In: IEEE Micro Electro
Mechanical Systems Februar 1989, S. 149-151;
WAGNER B. u. BENECKE W.: Magnetically Driven
Microactuators: Design Consideration. In: REICHEL,
Herbert: Micro System Technologies 90, Springer
Verlag 1990, S. 838-843;
BERESFORD, Roderic: Piezoelectric bender actuates
tiny relays and dot-matrix printers. In: Electronics,
Nov. 3, 1981, S. 39/40;

⑤4 Mikromechanisches, elektrostatisches Relais mit Parallel-Elektroden

DE 42 05 340 C 1

Die Erfindung betrifft ein mikromechanisches, elektrostatisches Relais mit einem Basissubstrat, mit mindestens einer auf dem Basissubstrat angeordneten, flächenhaften Basiselektrode, mit mindestens einem auf dem Basissubstrat angeordneten Basiskontaktstück sowie mit Stromzuführungen zu der Basiselektrode und dem Basiskontaktstück, mit einem rahmenförmigen Ankersubstrat, welches innerhalb der Rahmenform einen flachen Anker über elastische Lagerbänder derart trägt, daß eine auf dem Anker vorgesehene Ankerelektrode der Basiselektrode flächig gegenübersteht und mindestens ein auf dem Anker angeordnetes Ankerkontaktstück dem Basiskontaktstück gegenübersteht, wobei zumindest eine flexible Zuleitung für die Ankerelektrode vorgesehen ist.

Ein derartiges mikromechanisches Relais ist bereits bekannt, und zwar aus einem Aufsatz von Minoru Sakata: "An Electrostatic Microactuator for Electro-Mechanical Relay", IEEE Micro Electro Mechanical Systems, February 1989, Seiten 149 bis 151. Dort ist ein aus einem Siliziumsubstrat freigeätzter Anker über zwei Torsionsstege in einer Mittellinie so gelagert, daß jeder seiner beiden Flügel einer unterhalb liegenden Basiselektrode gegenübersteht. Für eine elektrostatische Erregung dieses Relais wird jeweils Spannung zwischen der Ankerelektrode und einer der beiden Basiselektroden angelegt, so daß der Anker wahlweise eine Schwenkbewegung nach der einen oder anderen Seite ausführt. Aufgrund des Abstandes der Torsionslagerung zur Basis verbleibt auch nach der Schwenkbewegung ein gewisser keilförmiger Luftspalt zwischen den Elektroden, so daß die elektrostatische Anziehungskraft verhältnismäßig gering bleibt. Dies wirkt sich auch in einer relativ geringen Kontaktkraft aus.

Aus B. Wagner, W. Benecke: "Magnetically Driven Microactuator: Design Considerations", in: Reichel, Herbert (Hg.): Micro System Technologies 90, Springer Verlag 1990, Seiten 838—843; auch bereits ein mikromechanisches Betätigungselement bekannt, welches in Form eines flachen Ankers mit allseitig angreifenden flexiblen Lagerbändern aus einem Siliziumsubstrat herausgearbeitet ist. Dieser bekannte Anker trägt außerdem einen Dauermagneten und wird im übrigen nicht elektrostatisch, sondern mittels einer Flachspule elektromagnetisch betätigt. Auch ist dort keine elektrische Kontaktgabe über den Anker vorgesehen.

Aufgabe der vorliegenden Erfindung ist es, ein mikromechanisches Relais der eingangs genannten Art zu schaffen, welches bei vorgegebenen Größenverhältnissen möglichst hohe Kontaktkräfte gewährleistet.

Erfindungsgemäß wird diese Aufgabe dadurch gelöst, daß der Anker über die Lagerbänder symmetrisch parallel zur Basiselektrode gehalten ist und bei Anlegen einer Spannung zwischen der Ankerelektrode und der Basiselektrode sich senkrecht zur Elektrodenfläche ganzflächig an die Basiselektrode anlegt und daß zumindest eines der Kontaktstücke über mindestens einen elastischen Haltesteg mit dem zugehörigen Trägersubstrat verbunden ist, wobei die Federcharakteristik der Haltestege härter ist als die der Anker-Lagerbänder.

Bei dem erfindungsgemäßen Relais ist also der Anker in Form eines Parallelkondensators über die Basiselektrode allseitig flexibel aufgehängt, so daß er bei Erregung keine Wippbewegung, sondern eine Transversalbewegung senkrecht zur Elektrodenfläche ausführt, daß also bei angezogenem Anker kein Luftspalt verbleibt

und demgemäß die maximale elektrostatische Kraft auch eine maximale Kontaktkraft erzeugt. Diese Kontaktkraft wird dabei durch den oder die elastischen Haltestege festgelegt, deren Federcharakteristik im Vergleich zu den Anker-Lagerbändern verhältnismäßig hart ist.

Das Ankerkontaktstück bzw. die Ankerkontaktstücke können als Brückenkontaktstücke jeweils mit einem Paar von Basiskontaktstücken zusammenarbeiten. In diesem Fall benötigt der Anker neben der Zuleitung zur Ankerelektrode keine eigene Stromzuführung. Es ist aber auch möglich, das Ankerkontaktstück bzw. die Ankerkontaktstücke jeweils mit einer eigenen flexiblen Stromzuführung zu versehen. Diese kann über eines der Lagerbänder verlaufen oder aber auf einem eigenen Stromzuführungsband gebildet sein. Lagerbänder und Stromzuführungsband werden zweckmäßigerweise durch Schichtabtragung und Freilegung ebenso wie der Anker aus einem einstückigen Substrat gebildet. Hierfür kommt Silizium oder ein vergleichbares Material mit ähnlichen mechanischen Eigenschaften in Betracht.

Generell bildet der Anker mit dem Basissubstrat einen oder auch mehrere Schließerkontakte. Es ist aber auch möglich, einen Öffner- bzw. einen Umschaltkontakt zu bilden. Zu diesem Zweck wird auf dem Ankersubstrat dem Basissubstrat gegenüberliegend ein zusätzliches Deckelsubstrat angeordnet, welches mindestens ein Ruhekontaktstück trägt, an welchem jeweils ein Ankerkontaktstück im Ruhezustand unter Vorspannung anliegt.

In Abwandlung der vorgenannten Anordnung kann man auch das Ankerkontaktstück ohne mechanische Vorspannung anordnen.

Damit erhält man einen Dreipunktschalter, der ohne elektrische Erregerspannung in der kontaktfreien Mittellage liegt, bei Erregung mit positiver Erregerspannung den einen Arbeitskontakt (beispielsweise gebildet aus Ankerkontaktstück und Basissubstrat-Kontaktstück) schließen würde, und bei Erregung mit negativer Erregerspannung den anderen Arbeitskontakt schließen würde (beispielsweise gebildet aus Ankerkontaktstück und Deckelsubstrat-Kontaktstück).

In einer besonders vorteilhaften Ausgestaltung wird das erfindungsgemäße Relais mit einem zusätzlichen Antrieb, vorzugsweise einem Piezoantrieb versehen, so daß ein Hybridantrieb entsteht. Zu diesem Zweck wird zumindest ein Teil der Lagerbänder des Ankers mit Piezo-Biegewandlern versehen, deren Biegekraft bei Erregung die Anzugskraft zwischen der Basiselektrode und der Ankerelektrode unterstützt.

Bei diesem Hybridantrieb werden die Eigenschaften zweier Antriebssysteme nutzbringend derart kombiniert, daß die Vorteile des einen Antriebs die Nachteile des jeweils anderen Antriebs aufwiegen:

Der Piezoantrieb kann den Anker um ein großes Wegstück bzw. über einen großen Schalhub verschieben, erzeugt aber bei großer Ankerauslenkung, d. h. in der Arbeitsposition, nur eine kleine Kraft. Andererseits erzeugt der elektrostatische Antrieb zwar in der Arbeitsstellung, d. h. bei angezogenem Anker, eine große Kontaktkraft, jedoch ist die elektrostatische Anzugskraft zu Beginn der Ankerbewegung, also bei großen Elektrodenabständen, nur gering.

Beim Hybridantrieb der hier vorgeschlagenen Art ist der Anker elektrisch leitfähig und dient als Elektrode für den elektrostatischen Antrieb. Die Lagerbänder des Ankers bestehen aus mehreren Schichten, von denen eine ein Piezoelektrikum ist. Sie dienen als piezoelektrischer

Bimorphantrieb; die Bimorphzungen krümmen sich bei angelegter Spannung und senken den Anker in Richtung auf das Basissubstrat ab. Auf dem Weg des Ankers von der Ruheposition zur Arbeitsposition wird die vom Piezobimorph ausgeübte Kraft kleiner, während die elektrostatische Kraft zwischen den Elektroden größer wird und in der Arbeitsposition über die vom Piezoantrieb erzeugte Kraft dominiert. Nach Abschalten der Antriebsspannung wird das Rückfallen des Ankers durch die rücktreibende Federkraft der Ankerfedern verursacht. Möglich wäre auch eine Unterstützung der Rückfallbewegung durch einen zweiten elektrostatischen Antrieb unter Verwendung einer Elektrode auf dem Deckelsubstrat.

Die Erfindung wird nachfolgend an Ausführungsbeispielen anhand der Zeichnung näher erläutert. Es zeigt

Fig. 1 ein Basis- und ein Ankersubstrat für einen elektrostatischen Antrieb,

Fig. 2 eine Anordnung mit Basis-, Anker- und Deckelsubstrat zur Bildung eines Umschaltrelais mit elektrostatischem und piezoelektrischem Antrieb,

Fig. 3a bis 3e die verschiedenen Herstellphasen eines Relais nach Fig. 2 anhand einer Schnittdarstellung,

Fig. 4 und 5 zwei abgewandelte Ankerausführungsformen,

Fig. 6 und 7 zwei vergrößerte Darstellungen eines Ankerkontaktstückes in verschiedener Ausgestaltung,

Fig. 8 eine schematische Ansteuerschaltung für ein Hybridrelais,

Fig. 9 ein schematisiertes Kräftediagramm für ein Hybridrelais.

Das in Fig. 1 dargestellte elektrostatische Relais besteht aus einem Basissubstrat 1 und einem Ankersubstrat 2, welche vorzugsweise jeweils von einem Silizium-Wafer gebildet sind. Jedes dieser Substrate kann beispielsweise eine Dicke von 200 bis 500 μ besitzen. Auf der Oberfläche des Basissubstrats 1 ist eine zweigeteilte Basiselektrode 11 in Form einer Metallschicht mit entsprechenden Anschlußbahnen 11a angeordnet. Außerdem trägt das Basissubstrat zentrisch zwei Basiskontaktstücke 12, die jeweils mit elektrischen Anschlüssen 12a in Form von Leiterbahnen versehen sind. Die Kontaktstücke 12 sitzen auf einem pyramidenförmigen Sockel gegenüber der Substratoberfläche erhöht, um einerseits den Abstand zum Anker auszugleichen und andererseits eine Durchbiegung der Haltestege zur Erzeugung des Kontaktdruckes zu bewirken.

Das Ankersubstrat 2 ist rahmenförmig und trägt in seiner Mitte den aus dem Substrat freigeätzten Anker 21 in Form einer dünnen Scheibe, der allseitig über dünne Lagerbänder 22 an dem Substrat hängt. Der Anker besitzt an seiner Unterseite eine nicht weiter sichtbare Metallschicht als Ankerelektrode 23, die parallel der Basiselektrode 11 gegenüberliegt. In der Mitte des Ankers 21 ist ein Ankerkontaktstück 24 derart freigespart, daß es allseitig über elastische Haltestege 25 mit dem Anker verbunden ist. Sowohl die Lagerbänder 22 als auch die Haltestege 25 sind schräg zu den Längsseiten des Ankers angeordnet oder besitzen eine anderweitige derartige Form, daß sie eine elastische Bewegung des Ankers 21 gegenüber dem Substrat 2 und des Ankerkontaktstückes 24 gegenüber dem Anker 21 senkrecht zur jeweiligen Oberfläche gestatten. Dabei ist die Federcharakteristik der Haltestege 25 härter als die der Lagerbänder 22, so daß die Federkraft der Lagerbänder 22 der elektrostatischen Anziehungskraft nur geringen Widerstand entgegensetzt, während nach dem Anziehen des Ankers 21 an das Substrat 1 über die Haltestege

25 eine relativ große Kontaktkraft erzeugt wird, mit der das Ankerkontaktstück 24 als Brückenkontaktelelement auf den Basiskontaktstücken 12 aufliegt.

Zur Vervollständigung des Relais wird das Ankersubstrat 2 auf das Basissubstrat 1 aufgesetzt und am Rand in geeigneter Weise, beispielsweise durch anodisches Bonden, verbunden. Das ganze System wird dann zweckmäßigerweise in einem Gehäuse dicht verschlossen. Im Betrieb des Relais wird zwischen die Basiselektrode 11 und die Ankerelektrode 23, von denen mindestens eine eine elektrische Isolierschicht trägt, eine Spannung angelegt, wodurch der Anker senkrecht zu seiner Oberfläche an die Basiselektrode angezogen wird und sich ganzflächig ohne bzw. mit verschwindend kleinem Zwischenraum auf die Basiselektrode 11 legt. Das Ankerkontaktstück 24 wird dabei durch die erhöht angeordneten Basiskontaktstücke 12 nach oben durchgedrückt, wobei die elastischen Haltestege 25 die Kontaktkraft für den Brückenkontakt erzeugen.

In Abwandlung des Systems von Fig. 1 könnte anstelle des Brückenkontaktes auch ein normaler Schließkontakt geschaffen werden, wobei dann der Anker ebenfalls mit einem Kontaktanschluß versehen werden müßte. Ebenso wäre es denkbar, mehrere Kontaktpaare zwischen Basis und Anker vorzusehen.

Fig. 2 zeigt schematisch ein Wechslerkontaktsystem mit Hybridantrieb in perspektivischer Darstellung der Einzelteile.

Es besteht aus einem Basissubstrat 1, einem Ankersubstrat 2 und einem Deckelsubstrat 3. Das Basissubstrat 1 besitzt wie im vorhergehenden Beispiel eine Basiselektrode 11 mit einer Anschlußbahn 11a sowie ein Basiskontaktstück 12 mit einer Anschlußbahn 12a.

Das Ankersubstrat 2 ist auch in diesem Fall rahmenförmig ausgebildet und besitzt in der Mitte einen freigeätzten plattenförmigen Anker 21, der über Lagerbänder 22 einstückig mit dem Substrat 2 verbunden ist. Die Lagerbänder 22 sind in diesem Fall parallel zu den Seitenwänden des Ankers bzw. des Substrats angeordnet, so daß sie eine möglichst große Länge aufweisen. Der Anker besitzt eine Ankerelektrode 23 in Form einer nicht weiter sichtbaren leitenden Schicht. Außerdem ist mittig im Anker eine Kontaktplatte 24 über Haltestege 25 aufgehängt. Die Kontaktplatte 24 besitzt ein nach beiden Seiten überstehendes Wechslerkontaktstück 26. Dieses Kontaktstück 26 ist über eine nicht dargestellte Leiterbahn mit einem Anschluß zum Lastkreis verbunden. Es wäre aber auch möglich, ebenso wie in Fig. 1 am Anker eine Kontaktbrücke vorzusehen, die dann mit jeweils zwei Kontaktstücken am Basissubstrat bzw. am Deckelsubstrat zusammenarbeiten würde.

Zusätzlich sind auf den Lagerbändern 22 jeweils Piezoschichten 27 angeordnet, die gemeinsam mit den Lagerbändern 22 als Biegewandler wirken. Bei Anlegen einer entsprechenden Spannung krümmen sich also die aus den Piezoschichten 27 und den Lagerbändern 22 bestehenden Biegewandler in der Weise, daß der Anker 21 in Richtung auf das Basissubstrat 1 abgesenkt wird. Damit wird die elektrostatische Anziehung zwischen der Basiselektrode 11 und der Ankerelektrode 23 unterstützt und ergänzt. In Fig. 2 sind die Anschlüsse für die Ankerelektrode, für das Ankerkontaktstück sowie für die Piezowandler nicht gezeigt. Sie werden in üblicher Weise als Leiterbahnen auf dem Substrat erzeugt.

Die beiden Substrate 1 und 2 von Fig. 2 könnten für sich bereits ein Relais mit Schließkontakt bilden. Im vorliegenden Beispiel ist allerdings ein Wechslerkontakt dadurch gebildet, daß zusätzlich ein Deckelsubstrat 3

aufgesetzt wird. Dieses Deckelsubstrat ist im wesentlichen wie das Substrat 1 gestaltet. Es besitzt im Mittelbereich eine Deckelelektrode 31, wobei diese jedoch für die Funktion des Relais nicht unbedingt erforderlich wäre. Außerdem ist mittig ein Deckelkontaktstück 32 mit einem entsprechenden Anschluß 32a vorgesehen; auch ein Anschluß 31a für die Deckelelektrode ist gezeigt. Rings um die Elektrode ist außerdem eine Nut 33 eingeformt, die die Beweglichkeit der Lagerbänder 22 mit den Piezoschichten 27 gewährleistet.

Die drei Substrate 1, 2 und 3 werden aufeinandergefügt, wie anhand von Fig. 3 noch näher gezeigt werden wird. Durch das Fügen der drei Substrate entsteht bereits ein Relais mit dichtem Gehäuse, das einen Umschaltkontakt beinhaltet. In der Ruhestellung wird das Kontaktstück 26 von den elastischen Haltestegen 25 gegen das erhabene Kontaktstück 32 des Deckelsubstrates 3 gedrückt. Dadurch wird ein Ruhestromkreis geschlossen.

Bei Erregung des Relais wird eine Spannung einerseits zwischen der Basiselektrode 11 und der Ankerelektrode 21, andererseits auch an die Piezoschichten 27, angelegt. Dadurch wird der Anker 21 sowohl durch die elektrostatische Anziehungskraft als auch durch den piezoelektrischen Biegeumwandler in Richtung auf die Basiselektrode 1 abgesenkt. Der Absenkbewegung der Ankerplatte 21 ist aufgrund der Durchbiegung der Lagerbänder 22 eine leichte Drehbewegung überlagert, die zu einem Reiben der Kontaktflächen führt. Dadurch werden die Kontaktoberflächen gereinigt.

Auf dem Weg des Ankers von der Ruhestellung zur Arbeitsposition wird die vom Piezobimorph ausgeübte Kraft zunehmend kleiner, während die elektrostatische Kraft zwischen den Elektroden größer wird und in der Arbeitsposition über die vom Piezoantrieb erzeugte Kraft dominiert. Nach Abschalten der Antriebsspannung wird der Anker durch die rücktreibende Federkraft der elastischen Lagerbänder 22 in seine Ruhestellung zurückgestellt. Im vorliegenden Fall kann das Rückfallen durch einen zweiten elektrostatischen Antrieb unter Verwendung der Deckelelektrode 31 unterstützt werden. In diesem Fall wird also eine Spannung zwischen dem Anker 21 bzw. der Ankerelektrode 23 und der Deckelelektrode 31 angelegt.

Im folgenden soll ein mögliches Herstellungsverfahren für das Relais gemäß Fig. 2 anhand der Fig. 3a bis 3e beschrieben werden. Dabei zeigen die Fig. 3a bis 3d jeweils einen Schnitt III-III durch das Ankersubstrat 2 in Fig. 2, während Fig. 3e einen Schnitt durch die gleiche Ebene III-III nach Aufsetzen des Basissubstrats und des Deckelsubstrats zeigt.

In Fig. 3a ist also ein Schnitt durch das Ankersubstrat 2 gezeigt. Es handelt sich dabei um einen Silizium-Wafer von beispielsweise 250 µm Dicke. Die Unterseite des Substrats wird zunächst mit einer Ätzmaske 201 versehen; dies dient als Vorbereitung für die spätere Freilegung des Ankers durch anisotropes Ätzen. Dann werden auf der Oberseite des Substrats 2 die Flächen für die Lagerbänder 22, für den Anker 21, für die Haltestege 25 und die Kontaktplatte 24 mit Bor in sehr hoher Konzentration ($> 5 \times 10^{19} \text{ cm}^{-3}$) dotiert. Diese hoch bordotierte Schicht 202 wird beim nachfolgenden Ätzen, beispielsweise mit KOH oder Ethylendiamin als Ätzlösung oder beim elektrochemischen Ätzen mit KOH nicht angegriffen. Für den Anker dient diese hochdotierte Schicht gleichzeitig als Elektrode. Im Bereich der späteren Kontaktplatte 24 wird eine (oder mehrere) nicht mit Bor dotierte Stelle 203 vorgesehen. Diese Stelle 203

wird später weggeätzt und bildet dann ein Loch für das Kontaktstück 26 in der Kontaktplatte 24.

Die bordotierten Stellen 202 des Substrats werden mit einer SiO_2 -Schicht 204 versehen. An den nicht bordotierten Stellen 205 der späteren Kontaktplatte überlagert die SiO_2 -Schicht die bordotierte Fläche zur Mitte hin und überdeckt damit teilweise die Stelle des späteren Loches 203.

Im Bereich der Lagerbänder und im Randbereich der nicht bordotierten Stelle 203 der späteren Kontaktplatte wird auf der SiO_2 -Schicht eine elektrisch leitfähige Schicht 206 abgeschieden. Sie dient später im Bereich der Lagerbänder als untere Elektrode für das Piezoelektrikum, im Bereich der Kontaktplatte als Galvanikstartschicht für den Aufbau des Wechslerkontaktes.

Gegebenenfalls kann vor dem Abscheiden der elektrisch leitfähigen Schicht 206 eine geeignete, an sich bekannte, Zwischenschicht zur Haftvermittlung und/oder als Diffusionssperrschicht abgeschieden werden (z. B. Gold mit Zwischenschicht Titan-Wolfram).

Wie in Fig. 3a weiter gezeigt ist, wird im Bereich der Lagerbänder auf der elektrisch leitfähigen Schicht 206 ein piezoelektrisches Material 207 abgeschieden, z. B. durch Aufputtern von ZnO oder durch einen Sol-Gel-Prozeß für PZT. Das Piezoelektrikum überragt die darunterliegende Elektrode 206 lateral. Damit wird später ein Kurzschluß der beiden Elektroden für den Piezowandler verhindert.

Auf der Oberseite des Piezoelektrikums 207 wird eine weitere elektrisch leitfähige Schicht 208 als zweite Elektrode für den Piezowandler abgeschieden (siehe Fig. 3b). Die laterale Ausdehnung dieser zweiten Elektrodenschicht 208 ist geringer als die laterale Ausdehnung des Piezoelektrikums 207. Darüber wird eine Schicht 209 aus ätzbeständigem Material, z. B. SiO_2 , abgeschieden.

Gemäß Fig. 3c wird das Substrat in einer selektiv und anisotrop ätzenden Flüssigkeit, z. B. KOH, von beiden Seiten soweit geätzt, bis der Anker 21, die Lagerbänder 22, die Haltestege 25 und die Kontaktplatte 24 völlig freiliegen. Da der Schnitt III-III durch die Haltestege 25 geführt ist, sind in Fig. 3 Anker und Kontaktplatte als durchgehende Schichten zu sehen. Anschließend wird das Substrat ohne Maske von der Rückseite aus mit SiO_2 beschichtet. Diese SiO_2 -Schicht 209 kann beispielsweise durch Sputtern erzeugt werden.

Auf den jetzt freiliegenden, metallisierten Flächen der Kontaktplatte 24 wird galvanisch ein Kontaktmaterial 210, z. B. Gold, abgeschieden. Die aufwachsende Galvanik dringt durch die beim Ätzen entstandenen Löcher 203 zur Rückseite des Substrats hindurch und bildet dort ebenso wie auf der Oberseite einen Teil des elektrischen Kontaktstückes 26 (Fig. 3d).

Für die Herstellung des in Fig. 2 gezeigten Deckelsubstrats wird auf einem Silizium-Wafer anisotrop ein ringförmiger Graben zur Erzeugung der Nut 33 geätzt. Die auf der Innenseite des Grabens liegenden konvexen Ecken werden dabei mit an sich bekannter Technik durch Maskenvorhalte vor einem Wegätzen geschützt.

Auf dem Substrat 3 wird eine fotolithografisch strukturierte, elektrisch leitfähige Schicht abgeschieden. Ein Teil dieser Schicht dient als die Deckelelektrode 31 für einen elektrostatischen Antrieb, der davon isolierte Teil dient als Leiterbahn 32a zum Kontaktstück 32 sowie als Galvanikstartschicht für dieses Kontaktstück. Da das galvanisch abgeschiedene Kontaktstück die Oberfläche des Deckschubstrats überragt, entsteht der Kontaktdruck des Ruhekompaktes. Über der leitfähigen Schicht wird

mit Ausnahme des Bereiches, an dem später das Kontaktstück 32 gebildet wird, eine elektrisch isolierende Schicht, z. B. SiO_2 , abgeschieden. An dem durch die elektrisch isolierende Schicht nicht abgedeckten Bereich der leitfähigen Schicht wird galvanisch ein Kontaktmaterial, z. B. Gold, abgeschieden. Auf diese Weise wird das Kontaktstück 32 oder es werden bei einer anderen Konfiguration auch mehrere Kontaktstücke, gebildet.

Das Basissubstrat 1 wird in gleicher Weise wie das Deckelsubstrat 3 gebildet, wobei jedoch das Heraussetzen der ringförmigen Grube entfällt. Auf dem Basissubstrat kann auch mittig ein Podest vorgesehen werden, durch das die Elektrodenfläche 11 mitsamt dem Kontaktstück 12 näher an die Ruhelage des Ankers herangebracht wird. Dadurch würde der zu überwindende Schalthub verringert. Ein solches Podest könnte man durch anisotropes Ätzen erzeugen.

Gemäß Fig. 3e werden auf das Ankersubstrat 2 von unten das Basissubstrat 1 und von oben das Deckelsubstrat 3 mit an sich bekannter Verbindungstechnik, z. B. durch anodisches Bonden, gefügt. Wie in Fig. 3e zu sehen ist, liegt das Ankerkontaktstück 26 an dem Deckelkontaktstück 32 an, wodurch der Anker leicht nach unten durchgedrückt und die Lagerbänder 22 leicht ausgelenkt werden.

Je nach gewünschter Kontaktfiguration können entweder ein oder mehrere Brückenkontakte gemäß Fig. 1 vorgesehen werden, wobei auf den feststehenden Substraten 1 und 3 jeweils Kontaktelemente paarweise angeordnet sind, die durch Kontaktbrücken des Ankers ohne eigenen Anschluß überbrückt werden. Besitzt jedoch der Anker ein Kontaktstück mit eigenem Anschluß, so kann dieser Anschluß auf unterschiedliche Weise bewerkstelligt werden. Beispielsweise kann eine Anschlußleiterbahn als isolierte elektrische Schicht auf einem Lagerband unterhalb der Piezoelektrode geführt werden. Es ist aber auch möglich, eine Leiterbahn 26a auf einer zusätzlichen Ankerfeder 28 herauszuführen, die dann keinen Piezobimorph trägt. Eine solche Gestaltung ist in Fig. 4 schematisch dargestellt.

In einer anderen Ausgestaltung gemäß Fig. 5 könnte aber auch eine Leiterbahn 26a auf einem der vier Lagerbänder des Ankers angeordnet werden. In diesem Fall wären also drei Lagerbänder 22 jeweils mit einer Piezoschicht 27 versehen, während auf dem vierten Lagerband 29 die Leiterbahn 26a geführt würde.

Die Form der Kontaktplatte 24 kann ebenso wie die der Haltestege 25 je nach den Bedürfnissen und Gegebenheiten eines Anwendungsfalles gewählt werden. Insbesondere kann auch das Kontaktstück 26 verschieden geformt sein. Für normale Anwendungsfälle mit punktförmigem Kontakt genügt ein einziges Loch 203 in dem Substrat, in welchem dann ein im wesentlichen rundes Kontaktstück 26 gemäß Fig. 6 entsteht. Soll jedoch ein länglicher Kontakt, beispielsweise für einen Brückenkontakt oder zur Erzeugung eines linienförmigen Kontaktes, erzeugt werden, dann ist es zweckmäßig, mehrere Löcher 203 in einer Reihe vorzusehen. Beim galvanischen Aufbringen von Edelmetall auf die Lochreihe entsteht dann ein länglicher Kontakt 26' gemäß Fig. 7. Natürlich sind auch andere Kontaktformen möglich.

Fig. 8 zeigt eine einfache Schaltung für einen Hybridantrieb gemäß Fig. 2. Dabei liegt eine Basiselektrode 11 parallel zu einer Ankerelektrode 23, welche plattenförmig einander gegenüberstehen und bei Anlegung einer Spannung von der Spannungsquelle 40 als elektrostatischer Antrieb dienen. Parallel zu diesem elektrostatischen Antrieb liegt ein Piezowandler 41 mit seinen Elek-

troden 42 und 43, wobei die Elektrode 43 von der gleichen Schicht wie die Elektrode 23 gebildet sein kann. Über den Schalter 44 können der elektrostatische Antrieb mit den Elektroden 11 und 23 sowie der Piezoantrieb mit den Elektroden 42 und 43 parallel an die Spannungsquelle 40 angelegt werden. Dabei sprechen beide Antriebe gleichzeitig an und überlagern ihre Kräfte zum Schließen des jeweiligen Kontaktes.

Die Charakteristik der beiden Antriebe ist schematisch in Fig. 9 gezeigt. Über einer Achse für den Ankerabstand s ist die Kraft F aufgetragen. Im Ruhezustand, wenn der Ankerabstand den Wert a besitzt, ist die mit f_1 bezeichnete elektrostatische Kraft verhältnismäßig gering; sie steigt mit zunehmender Annäherung des Ankers an die Basiselektrode an und erreicht einen hohen Wert, wenn der Abstand s gegen 0 geht. Die piezoelektrische Anziehungskraft, mit f_2 bezeichnet, ist am größten am Anfang der Ankerbewegung, also bei großem Ankerabstand. Sie wird mit zunehmender Auslenkung des Biegewandlers zur Basiselektrode hin kleiner. Somit kompensiert die piezoelektrische Kraft f_2 bei dem großen Ankerabstand a den geringen Wert von f_1 , während die elektrostatische Kraft f_1 nach dem Schließen des Ankers den kleinen Wert der piezoelektrischen Kraft f_2 kompensiert. Es entsteht dabei ein Gesamtverlauf der Kräfte f_3 , der über den gesamten Wegverlauf die entgegenwirkende Federkraft f_4 der elastischen Lagerbänder zu überwinden und bei geschlossenem Anker eine große Kontaktkraft zu erzeugen vermag. Der zusätzliche Anstieg der Federkraft nach dem Schließen des Kontaktes (durch Deformation der Haltestege 25) ist in Fig. 9 nicht eigens berücksichtigt.

Patentansprüche

1. Mikromechanisches elektrostatisches Relais mit einem Basissubstrat (1), mindestens einer auf dem Basissubstrat angeordneten, flächenhaften Basiselektrode (11), mindestens einem auf dem Basissubstrat (1) angeordneten Basiskontaktstück (12), sowie mit Stromzuführungen (11a, 12a) zu der Basiselektrode und dem Basiskontaktstück, weiterhin mit einem rahmenförmigen Ankersubstrat (2), welches innerhalb der Rahmenform einen plattenförmigen Anker (21) über elastische Lagerbänder (22) derart trägt, daß eine auf dem Anker vorgesehene Ankerelektrode (23) der Basiselektrode (11) flächig gegenübersteht und daß mindestens ein Ankerkontaktstück (24, 26) dem Basiskontaktstück (12) gegenübersteht, wobei zumindest eine flexible Zuleitung für die Ankerelektrode vorgesehen ist, dadurch gekennzeichnet, daß der Anker (21) über die Lagerbänder (22) im wesentlichen symmetrisch parallel zur Basiselektrode (11) gehalten ist und bei Anlegen einer Spannung zwischen Ankerelektrode und Basiselektrode sich senkrecht zur Elektrodenenebene ganzflächig an die Basiselektrode anlegt und daß zumindest eines der Kontaktstücke (26) über mindestens einen elastischen Haltesteg (25) mit dem zugehörigen Trägersubstrat (2) verbunden ist, wobei die Federcharakteristik des Haltesteges bzw. der Haltestege (25) härter ist als die der Anker-Lagerbänder (22).
2. Relais nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß das Ankerkontaktstück (24 bzw. 26) ebenfalls eine flexible Stromzuführung (26a) aufweist.
3. Relais nach Anspruch 1 oder 2, dadurch gekennzeichnet,

zeichnet, daß das Ankerkontaktstück (26) vorzugsweise mittig im Anker angeordnet und über elastische Haltestege (25) mit diesem verbunden ist.

4. Relais nach einem der Ansprüche 1 bis 3, dadurch gekennzeichnet, daß der Anker (21) mit seinen Lagerbändern (22) durch Schichtabtragung und Freilegung aus einem einstückigen Substrat (2) gebildet ist.

5. Relais nach einem der Ansprüche 1 bis 4, dadurch gekennzeichnet, daß auf dem Ankersubstrat (2) dem Basissubstrat (1) gegenüberliegend ein Dekkelsubstrat (3) angeordnet ist, welches ein Ruhekontaktstück (32) trägt, an welchem das Ankerkontaktstück (26) im Ruhezustand unter mechanischer Vorspannung anliegt.

6. Relais nach einem der Ansprüche 1 bis 5, dadurch gekennzeichnet, daß die Substrate (1, 2, 3) aus Halbleitermaterial, vorzugsweise Silizium, bestehen.

7. Relais nach Anspruch 5 oder 6, dadurch gekennzeichnet, daß der Deckel eine zusätzliche Deckelelektrode besitzt, welche mit der Ankerelektrode (23) einen zusätzlichen elektrostatischen Antrieb zur Ankerrückstellung bildet.

8. Relais nach einem der Ansprüche 1 bis 7, dadurch gekennzeichnet, daß die Lagerbänder (22) jeweils parallel zu den Seiten des Ankers (21) zwischen diesem und dem rahmenförmigen Ankersubstrat (2) angeordnet und jeweils an einem Ende mit dem Ankersubstrat (2) und an dem anderen Ende mit dem Anker (21) verbunden sind.

9. Relais nach einem der Ansprüche 1 bis 8, dadurch gekennzeichnet, daß zumindest ein Teil der Lagerbänder (22) des Ankers mit Piezo-Biegewandlern (27) versehen ist, deren Biegekraft bei Erregung die elektrostatische Anzugskraft zwischen Basiselektrode (11) und Ankerelektrode (23) unterstützt.

Hierzu 6 Seite(n) Zeichnungen

40

45

50

55

60

65

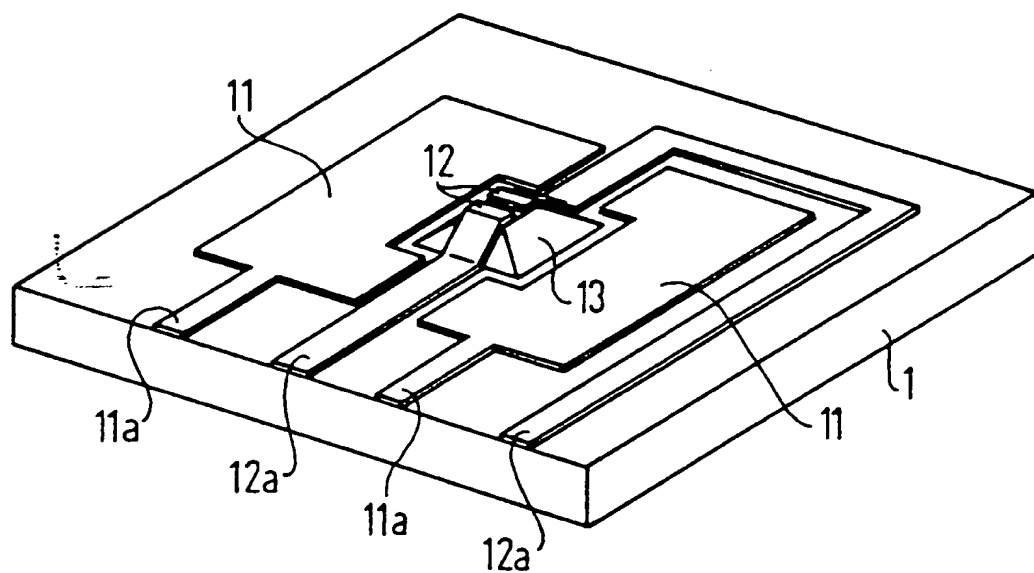
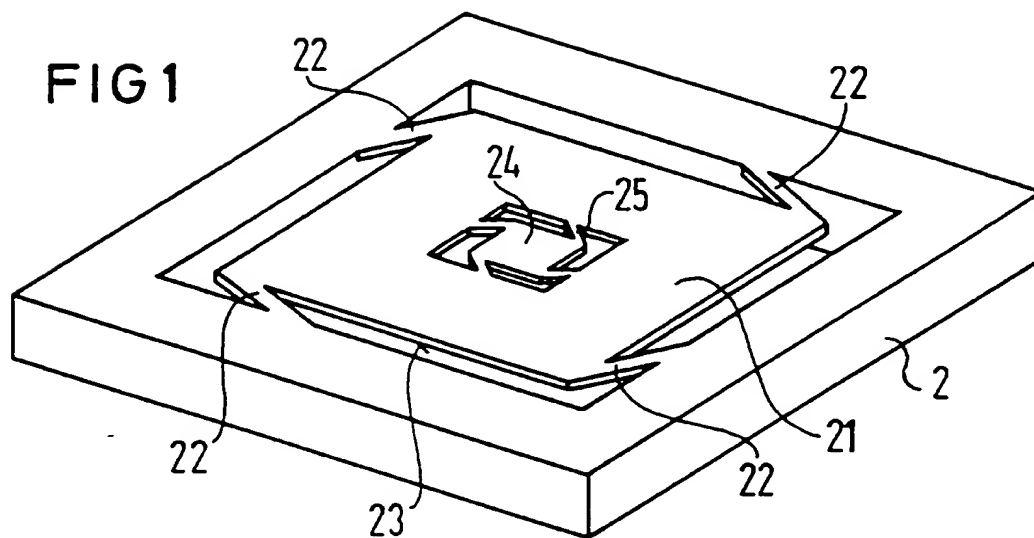


FIG 2

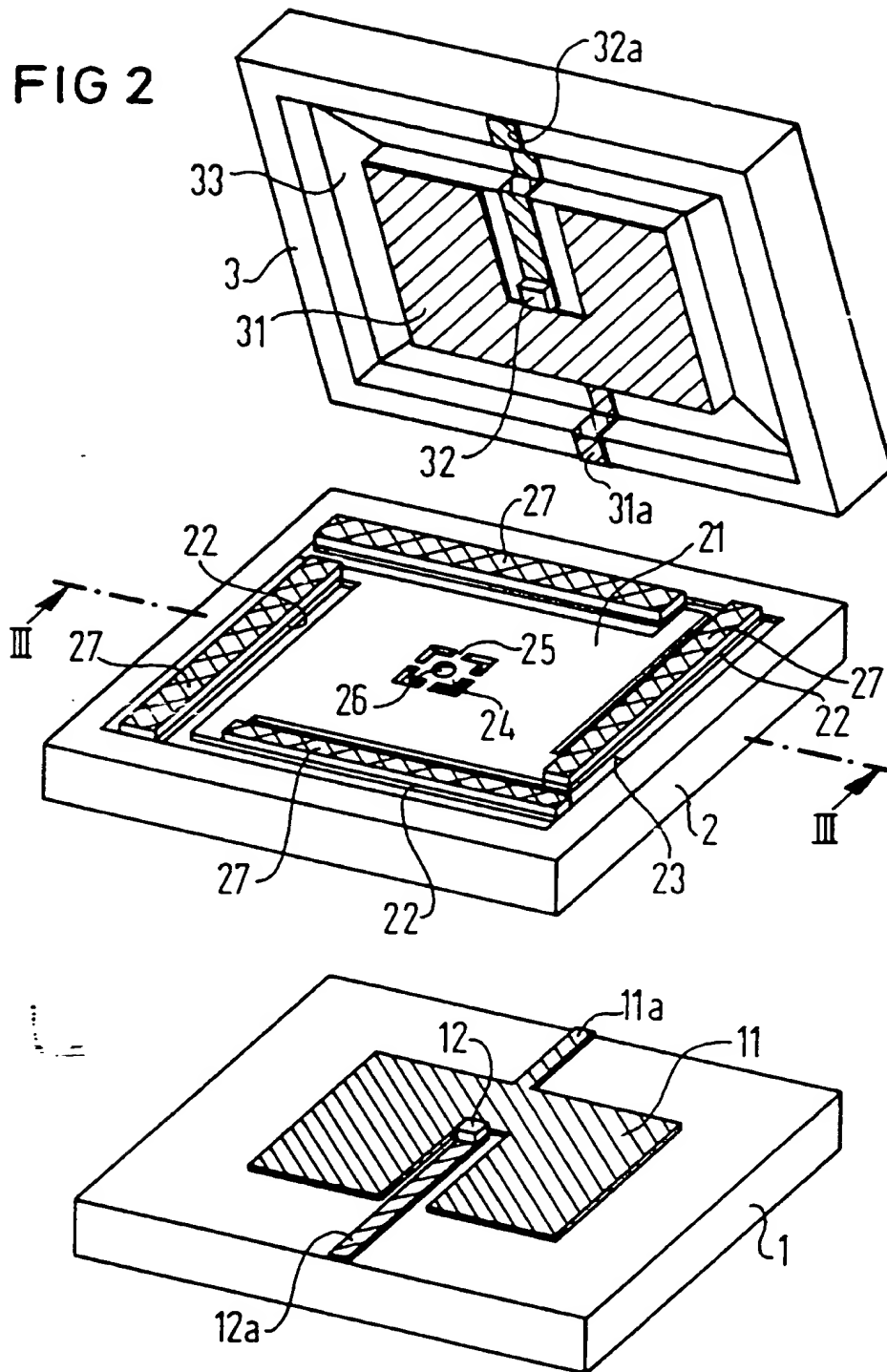


FIG 3

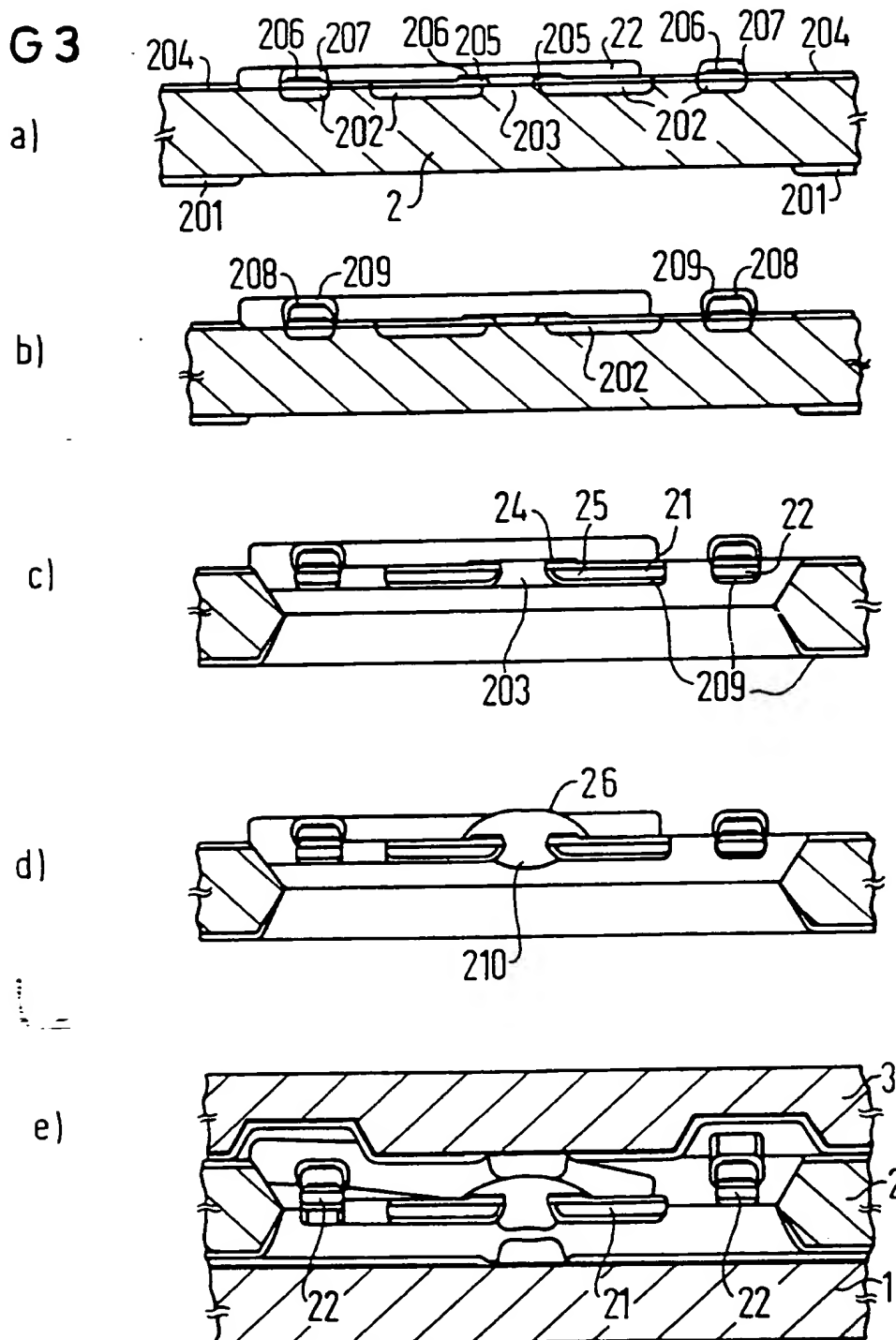


FIG 4

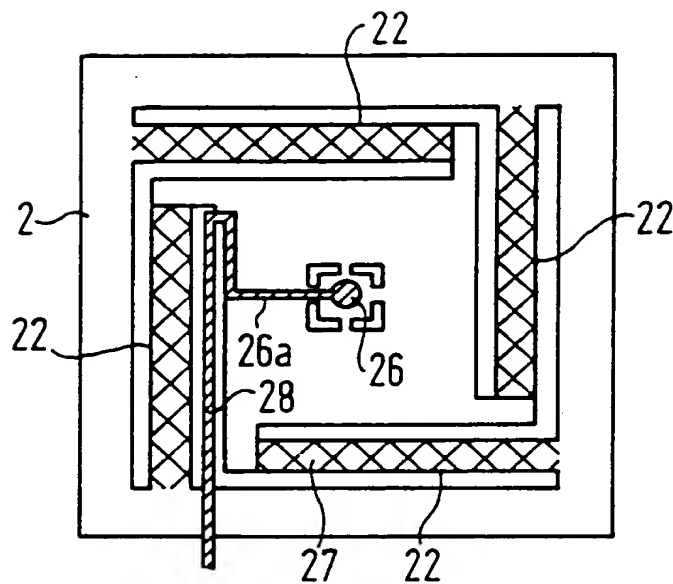


FIG 5

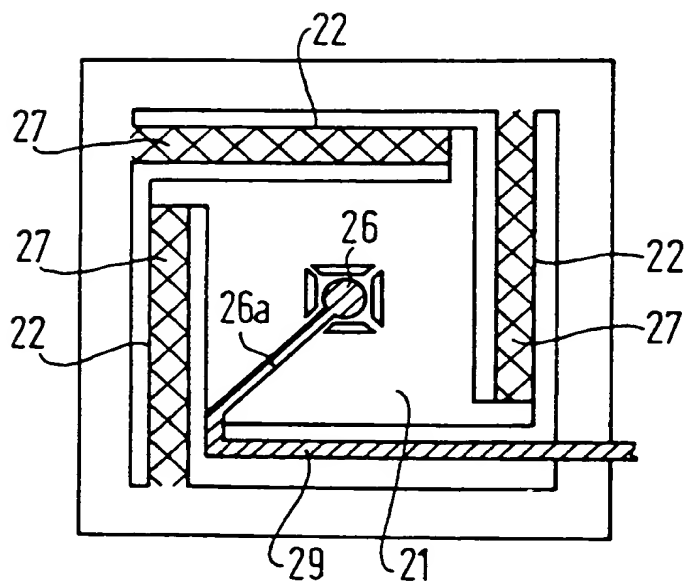


FIG 6

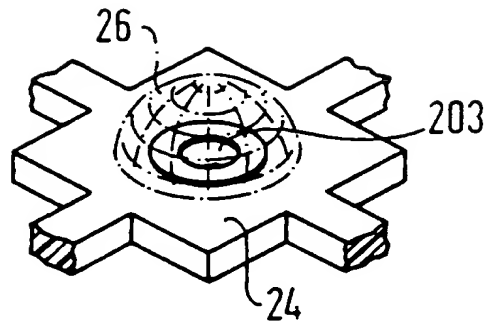


FIG 7

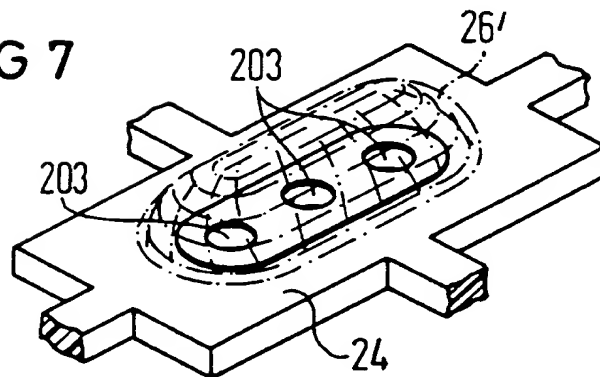


FIG 8

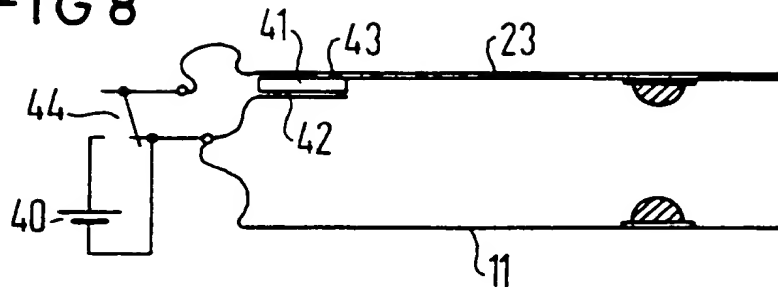


FIG 9

